

すまいまわりの IoT に係わる 三つの課題

野城智也 東京大学生産技術研究所 教授

はじめに

いま、IoT (Internet of Things) という言葉が溢れるように使われている。

数年前には、殆ど使われていなかっただけに、急に吹き出してきた感もあるが、実は、IoTの概念そのものは、既に30年前に提唱されている。1987年、坂村健氏は、Highly Functional Distributed Systemという概念を発表した(文献1)。これは、「さまざまなモノに内蔵されたコンピュータをネットワークで相互に繋ぐことによって、それらのモノを「インテリジェント・オブジェクト」として、協調的に賢く駆動・制御させていく」という概念で、今日でいうところのIoTそのものである¹⁾。坂村氏が手がけたトロン・プロジェクトは、その概念が実現可能な未来であることを世界に先駆けて具現化したプロジェクトであった。

近年になって急にIoTという言葉が溢れている感を受けるのは、一般家庭でも、IoTを使うことができる技術的・経済的な条件群

がようやく整ってきたからである。第一に、CPUなどコンピュータ・ハードウェアの能力は飛躍的に向上し、第二に、AIなど大量のデータを解析する技術も大発展した。第三に、大容量・高速の情報ネットワークが世界中に張り巡らされ誰もがアクセスできるようになっており、第四に、センサーが高性能化し低廉化して各所に配置されている。

これら四つの条件は、IoTのみならず、ビッグデータの利活用、ロボティクス、3Dプリンティング、ブロックチェーン、仮想通貨など、デジタル・データの利活用を基盤とする技術の普及を促進するとともに、それに伴う産業、社会、生活の変容(digital transformation)も押し進めている。

さらに、今後は、Amazonの「Amazon Echo」や、Googleの「Google Home」などのスマートスピーカーに象徴されるように、人の意志や状況を伝える様々なユーザー・インターフェースが考案され、そのこともIoTの普及を後押ししていくであろう。スマートスピーカーにひとこと話しかけるだけで、家電や照明をオン・オフしたり、

玄関を解錠したり、電動窓を上下させると
いう光景が、一般家庭で当たり前になろう
としている。

大きな目でみれば、IoTは私たちの生活
の各分野に浸透していくことは間違いない。
ただ、その使い方次第によっては、不幸を
もたらしてしまうおそれもある。IoTが人々
に幸せをもたらしていくには、いくつかの
課題を克服していかなければならない。以
下、本稿では、それらのうち、三つの課題
を取り上げ、その解決のための基本方針に
ついて考えていきたい。



課題1：普遍的な相互接続性の実現

例えば、家庭のなかの冷蔵庫の在庫状況に
応じて、食材を不在でも届けてくれるサービ
スが米国などで試行されているが、これは、
冷蔵庫と、玄関のスマートロック、宅内Web
カメラなどをIoTのアプリケーションで連動
させることで成立するサービスである。

このように、かゆいところに手が届く
サービスを続々と創造していくためには、IoTによるサービスを動かすアプリケー
ション・ソフトウェアと、すまいまわりの
人工物が制約なく相互接続され、人工物同
士が「おしゃべり (machine to machine

communication)」ができるようになってい
なければならない。

ひるがえって、すまいまわりの人工物の
現状をみると、必ずしも自由自在に「お
しゃべり」ができる状況とはなっていない。
かつては、部品・機器に組み込まれたコン
ピュータ・システムは、ネットワークで繋
がれることなく、それぞれ独立に機能して
いた。さらに他と繋ぐ場合でも、その組み
込みソフトウェア（アクチュエータなどを
介して部品・機器を動作させるソフトウエ
ア）は、特定の通信プロトコルのみに対応
するように使われてきたケースが多い。た
とえていえば、それぞれの内部で、部品・
機器Aは中国語で、部品・機器Bは英語
で「おしゃべり」をするという状況が続い
てきた。これでは、外部のアプリケーション・ソフトウェアからネットワークを介し
てフランス語で命令を受けても、部品・機
器A、Bともにその意味が理解できず命令が
実行できず、意図するようには動作しない
ことになってしまう。どのメーカーの部品・
機器でもある特定のアプリケーションの命
令が理解できるようにすること、また、部
品・機器側から発せられる信号をアプリ
ケーションが意味のあるデータとして受け
取れるようにすること、という双方向での
コミュニケーションの要件を満たすことが、

自由な「おしゃべり」を可能にする。すなわち、IoTが人々の多岐多様な顕在的・潜在的なニーズを満たしていくためには、組み込みソフトウェアや各種アプリケーションとの間の普遍的な相互接続性を満たすことが重要な要件となる。

ここで、普遍的な接続性は、必ずしも通信プロトコルの標準化を意味するものではない。確かに、英語でも中国語でもフランス語でもなく、エスペラントのような標準言語（＝標準プロトコル）を作り、皆がそれを使えば、普遍的な相互接続性は実現できる。しかし、その方法は現実的ではないと筆者は考えている。何故なら、英語、中国語、フランス語をはじめ多種多様な言語が存在しているのと同様に、地球上の人工物にはさまざまな通信プロトコルが既に用いられていて、エスペラントが発明されても普及しなかったのと同様に、すまいまわりの全ての人工物を唯一のプロトコルに塗り替えるのは容易ではないからである。例えば、赤外線通信など無線リモコンにより操作される機器の裾野は広いが、これらを、より高次の通信プロトコルに対応できるようにするためには、機器の設計を大幅に変更する必要があり、一朝一夕に更新できるものではない。

すまいまわりで普遍的な接続性を実現す

るための、現時点での最も現実的な方法は、それぞれの部品・機器が通信プロトコルを変更しなくとも「おしゃべり」ができる、翻訳の仕組みを作ることであると考えられる。ここでヒントになるのは、プリンタとパソコンとの間の接続方法である。プリンタの組み込みシステムはそれぞれ独自の「言葉」で書かれているが、プリンタ・ドライバをパソコンにインストールことによって、アプリケーションからの命令を理解し、動作できるようになっている。いわば、プリンタ・ドライバが翻訳の役割を担っている。プリンタ・メーカーからすれば、パソコンのOSに適合するプリンタ・ドライバを製作さえすれば、いちいちアプリケーションごとに翻訳機能を提供しなくとも多様なアプリケーションと接続できるわけである。プリンタ・ドライバをパソコンに置くという仕組みが、アプリケーションの製作者にとっても、プリンタの製作者にとっても、相互接続のためのハブ（中継点）となっている。

このプリンタ・ドライバによるハブを介した接続方式をヒントに、筆者は、Web-APIとドライバを組み合わせた「IoTハブ」を介した接続方式を提案している。人工物の製造者は、IoTハブの運営者が提示する仕様に準拠したThingsドライバをクラウド上など仮想空間上の指定場所に置きさえすれ

ば、外部のアプリケーションと「おしゃべり」することができる。一方、アプリケーションの開発者は、IoTハブの運営者が提示するAPIに準拠するようにプログラムを書きさえすれば、通信プロトコルの異なる複数の人工物（Things）に命令を届け整合連携した動作をさせることができる。また、人工物の製造者、アプリケーションの製作者の責任範囲を明確に区分けすることもできる。

「IoTハブ」を介した接続方式をとることで、例えば、どのメーカーのどのような型番の水栓、コンロ、換気扇、電動窓の組み合わせであっても、台所で、スマートスピーカーへの話しかけ内容に応じて、一つのアプリケーションから、水栓の水量、コンロの火加減、換気扇風量、電動窓動作を協調的に調整することができるようになる。

このような普遍的な相互接続環境が整えば、参入障壁が低まってスタートアップ企業などが参入しやすくなり、生活を潤すようなサービスが続々生み出されていくことが期待される。



課題2：「場でのまとめり」の保証

近い将来、すまいまわりのひとつの場（部屋、単位空間）に、複数のIoTアプリケー

ションが、働いていくことが予想される。その際に、その場にいる人や環境の状況に応じて、機器・部品が相互矛盾・齟齬なく働くことが期待される。

ただ、コンピュータは「状況」という曖昧模範なことがらを認識するのは得意ではない。以前、店舗の省エネルギーをお手伝いした際に、ペットボトルなどを陳列する要冷機器と、店舗を冷房する空調機が、相互調整されることなく、それぞれが別個の組み込みソフトウェアで制御されていたため、要冷機器が店舗全体を冷やそうとしてフル稼働する一方で、空調機が殆ど休眠状態になっていて、エネルギーの使用効率が損ねられている事例に出会ったことがある。本来は、容量の大きな空調機が優先して運転されるべきなのだが、この「場の状況に応じて空調機を優先的に運転する」というロジックを働かせる仕組みがなかったのである。

その場にある機器・部品が、IoTのアプリケーションで制御されるようになったとしても、「場の状況に応じてコマンドの優先度やその相互調整のロジックを定義する」ことを欠くと、不都合なことは起こりうる。

例えば、空調機を作動させるアプリケーションと、電動窓を作動させるアプリケーションが同じ場に働く場合、それぞれがバ

ラバラに働いてしまっただけで、せっかく空調機を稼働させているのに、別のロジックで制御されている電動窓が開いてしまい、エネルギーの無駄を増やしてしまうことになる。また、ゲリラ豪雨が降るような状況で、窓を開けてしまうことがおきると家は水浸しになってしまう。

すまいまわりに適用されるIoTが人を幸せにするためには、場の状況に応じてアプリケーションの命令内容を調整し、その場の機器・部品が、30年前に坂村氏が提唱したように協調的に賢く駆動・制御されていくこと、すなわち「場のまとまり」が保証されなければならない。

すまいまわりのIoTサービスの先行例では、ユーザーがアプリケーション同士の優先度をメニュー画面で選択することできる例がある。これは「場のまとまり」を実現する一方策として有効である。但、すまいまわりで起きる、状況とアプリケーションの組み合わせは千差万別であり、そのどこに不幸な組み合わせが眠っているのか、全てを予測することは難しい。その不幸な組み合わせに関する経験知を、公共知としてストックさせていくことも必要である。筆者らは、こうした公共知をストックしたうえで、不幸な組み合わせが生じた際には、アプリケーションからの命令の実行をせき止

める関所のような役割をする機能を先述の「IoTハブ」に付帯させていく仕組みを提案している。なお、このような公共知を用いて関所機能をサービスとして提供すること自体は競争領域であるという意見もあるが、筆者は非競争領域のサービスとする方がなじむのではないかと考えている。

いずれにせよ、状況を認識し、それを踏まえて、それぞれの場にとって最適な命令の組み合わせを実現していくことが、健全なIoTの発展普及にとって肝要である。

◆ 課題3：個人情報保護とデータの共同利用の両立

すまいまわりのIoTでは、場の状況を認識するために、様々なセンサーが配置され、生体データを含め人の状態や挙動にかかわるデータが収集される。これらの多くは個人情報である。

例えば、入浴中での事故を防ぐため、浴室機器の作動状況、窓・ドアの開閉状況、湯量変動などのデータから入浴状況を推定し、問題あらば警報したり、浴槽の水栓を抜いて溺死を防ぐという、IoTアプリケーションが考案されつつある。ここで集められるデータはまさにプライバシーにかかわる個人情報である。医療情報を医師らが取

り扱わなければ治療ができないように、入浴状況にかかわるデータが分析できなければ事故防止サービスの手立てはできない。多くの市民は、医師らは、個人情報が出ないように管理していることに対し信頼感をもっている。一方、IoTアプリケーションを用いたサービスについてはその提供者の顔も見えず、かつ実績もないだけに不安をもたざるを得ない。ただ、入浴中の事故件数は、交通事故件数にも匹敵するという推測があり、高齢化社会の進行とともに、その防止は極めて重要になってきている。事故防止サービスの提供者が社会的信頼を獲得することに成功すれば、サービスを利用しようという人は増加していくであろう。

それゆえに、個人情報の管理についてユーザーの信頼を獲得することが重要である。その具体的な方法としては、昔ながらのノレンによる信頼感の獲得という方法もある。また、個人情報の管理方法について第三者査察・認証も含めて透明性を上げることで信頼感を獲得する方法も考えられる。

さて、今後のすまいまわりでのIoTの発展を考えると、当該個人の承諾もしくは要請に基づいて、別のサービス提供者に個人情報を提供する事態が生じることも想定される。例えば、いま、心拍数、血圧などの生体データを計測・発信できる「スマート・

シャツ」などが、いくつかの企業で開発され、これを用いて健康管理をはじめとして、様々なIoTサービスに活用しようという試みがなされはじめている。ユーザー目線で見れば、A社の提供する「スマート・シャツ」で得た生体データを、B社のアプリケーションでも、自分の都合のために使い回したいというニーズは生まれてくるであろう。こうした生体データだけではなく、スマート・ロックの作動状況、空調機の作動状況、すまいの中を移動する掃除ロボットなどが集めてくるデータを他社のIoTアプリケーションで利用したいという要求が、そのユーザー自身から生まれてくることも予想される。A社が収集した個人情報を、B社、C社など他の事業者が提供するIoTアプリケーションでも利用することの潜在的なニーズは高まっていると思われる。

そのニーズに応えるため、筆者は、データポータビリティ²⁾の概念をもとに、「私の代理人」が、利用しようとしているIoTアプリケーションの目的に応じて、各事業者が預かっている依頼人自身の個人情報を収集し、その利活用を一括管理する仕組みを導入することを提案している（いま話題になっている「情報銀行」は、まさに「私の代理人」の一樣態といつてよい）。

ビッグデータ時代が標榜されるなか、個

人情報データを大量に預かっていることが企業間競争での比較優位性になると発想している事業者は少なからずいると想像される。そうした事業者からみれば、データの共同利用は、その折角の優位性を毀損し、敵に塩を送るかのような行為のようにみえよう。ではあるが、ある顧客が、他の事業者のIoTアプリケーションを利用するにあたって必要となる特定データを提供することは必ずしも自らの手元にあるビッグデータへのアクセスにおける優位性を脅かすものではない。そのことさえ理解されれば、マインドセットは大いに変わると想像される。むしろ、様々なデータ提供要求に応じて管理区分別に適切なアクセス制限ができるよう、預かっている個人情報のデータベース構造をモジュラー化するなどの積極的な対応がなされていくであろう。

ただ、これだけでは、データの共同利用の動機付けは弱い。そこで、筆者は、「私の代理人」を介して、IoTアプリケーションにデータが提供された場合、ブロックチェーン技術を活用して、データの提供者に、利用事業者が「データ利用料」を払う仕組みを導入することも提案している。従前は、こうした膨大なデータ利用を管理し決済するためには膨大なコストが必要とされたが、ブロックチェーン技術はその管理・決済コ

ストを一気に低廉化させることが期待される。仮に、こうしたデータ利用に関する管理・決済システムが導入されれば、生体データや各種計測データを提供する事業者側からみれば、むしろ、そのデータ利用者が現れてくれれば、データ収集のためにかけた初期コストを早く回収できる機会を得ることになる。また、データ利用事業者から見れば、自らがセンサーを設置する費用よりも安い投資で、サービスが提供できる可能性が高まる。またユーザーからみれば、二重投資が回避されるために、より安い価格でサービスを受けることができる可能性も広がることになる。こうした仕組みを構築することで、個人情報の保護と、データの共同利用を両立させ、かゆいところにとどく多様なIoTサービスを比較的安価に提供していくことができるようになることが期待される。



おわりに

以上、本稿では、ひとを幸せにするすまいまわりのIoTを発展普及させるために克服すべき三つの課題について述べた。実は、すまいまわりのIoTが人を幸せにしていくためには、「多世代問題」という課題も

克服していかなねばならない。これは、アプリケーションをはじめとしたソフトウェアの更新速度と、すまいの各場にある部品・機器などのハードウェアの更新速度が全く異なるため、将来、ソフトウェアを更新したらハードウェアが対応できずに機能上の不具合が生じるおそれがあるという問題である。この問題をどのように回避すればよいのかについては、別稿にて論じたい。

なお、本稿では「IoTはモノのインターネットである」という言説を意図的に避けてきた。この言説は、Internet of ThingsのThingsをモノと翻訳していることから生じていると想像されるが、すまいまわりのIoTのユーザーにとっては、生み出されるコトが重要である。そういう意味では、特に本稿で取り上げた課題2、3に関しては、Thingsをコトと解し、コトのインターネットととらえた方が、本質を見失わないように思われる。あえて最後に附言しておきたい。

- 1) なお、筆者はIoTを「インターネットを介して、モノそれぞれに組み込まれたコンピューター・システムが互いに結びついて情報を交換し合い、複数のモノを協調的に働かせること」と定義している。
- 2) 各企業が保有する個人データは本人が提供したものであって本人が自由にアクセスしたり、本人の判断次第で第三者へ提供することができるなど、個人の意志・選択で、自分のデータをさまざまに利活用できるという考え方

参考文献

- 1 Sakamura, Ken. "The tron project." IEEE Micro 7.2 (1987) : 8-14.
- 2 野城智也、馬場博幸、生活用IoTがわかる本 暮らしのモノをインターネットでつなぐイノベーションとその課題、NextPublishing, 2017 (電子出版本)

プロフィール……………
やしろ・ともなり 1957年東京都生まれ。東京大学大学院工学系研究科建築学科専攻博士課程修了。建設省建築研究所、武蔵工業大学建築学科助教授、東京大学大学院工学系研究科社会基盤工学専攻助教授などを経て、現在、東京大学生産技術研究所教授(2009～12年に東京大学生産技術研究所 所長、2013～15年に東京大学 副学長を歴任)。工学博士。専門は、サステナブル建築。主な著書に『サービス・プロバイダー—都市再生の新産業論』(彰国社, 2003年)、『実践のための技術倫理—責任あるコーポレート・ガバナンスのために』(共著、東京大学出版会, 2005年)、『住宅にも履歴書の時代—住宅履歴情報のある家が当たり前になる』(共著、大成出版社, 2009年)、『建築ものづくり論 -- Architecture as "Architecture" (東京大学ものづくり経営研究シリーズ)』(共著、有斐閣, 2015年)、『イノベーション・マネジメント: プロセス・組織の構造化から考える』(東京大学出版会, 2016年)、『生活用IoTがわかる本 暮らしのモノをインターネットでつなぐイノベーションとその課題』(共著、インプレスR&D, 2017年) 他多数。